

毫米级栅型电场分布 FEP 薄膜驻极体的制备及其电荷存储性能研究

张林成 陈钢进 肖慧明 蔡本晓 黄华 吴玲

Preparation and charge storage property of FEP thin film electret with grid electric field distribution in millimeter scale

Zhang Lin-Cheng Chen Gang-Jin Xiao Hui-Ming Cai Ben-Xiao Huang Hua Wu Ling

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 64, 237701 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.237701

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.237701>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I23>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

毫米级栅型电场分布FEP薄膜驻极体的制备及其电荷存储性能研究*

张林成 陈钢进[†] 肖慧明 蔡本晓 黄华 吴玲

(杭州电子科技大学驻极体及其应用实验室, 杭州 310018)

(2015年6月15日收到; 2015年8月23日收到修改稿)

采用电晕注极和热注极技术, 在厚度为25 μm 的氟化乙丙烯共聚物(FEP)表面制备了宽度为2 mm和3 mm的具有栅型电场分布的驻极体, 研究了注极温度和电极宽度对其电荷存储性能的影响. 样品注极后经150天的存储, 栅型电场分布变得清晰而有规律, 覆盖铝电极区电位已衰减至接近零, 未覆盖铝电极区仍保持高电位; 对电极宽度为2 mm和3 mm的样品, 覆盖铝电极区与未覆盖铝电极区的表面电位差分别为110 V和130 V(电场强度差分别为44 kV/cm和52 kV/cm). 表面电位跟踪测试结果表明: 电晕注极样品初始表面电位高于热注极样品; 在相同的注极方法下, 注极温度越高初始表面电位越高, 电极宽度越小初始表面电位越低. 依据电晕注极和热注极原理对实验结果的分析表明, FEP和金属铝在电荷存储性能上的差异是FEP表面蒸镀铝电极后能获得栅型电场分布的原因所在.

关键词: 驻极体, 栅型电场分布, 注极技术, 电荷存储性能

PACS: 77.55.F-, 21.10.Ft, 42.25.Ja, 51.50.+v

DOI: 10.7498/aps.64.237701

1 引言

驻极体由于可产生持久稳定的静电场而引起人们的广泛关注. 近年来MEMS器件越来越多地融入了驻极体材料, 例如小功率驻极体发电机及驻极体马达^[1]、传感器和换能器^[2,3]、非线性器件^[4]、驻极体麦克风和扬声器等^[5]. 驻极体应用时的一个显著特点是图型化, 材料结构尺寸要求在毫米量级或更小, 如驻极体微电机要求驻极体尺寸在0.2 mm左右^[6], 驻极体麦克风也已向毫米级产品发展^[7]. 然而, 人们发现宏观驻极体材料所具有的优异静电场稳定性随着材料尺寸的减小将变差, 传统的注极技术已不适用^[8]. 如Arakawa等在其提出的振动式微型发电机的研究中采用CYTOP有机膜作为驻极体材料, 结果发现该有机膜表面电荷密度随驻极体尺寸减小呈快速下降的趋势^[9]. 温志渝课题组对Teflon驻极体^[10]、肖慧明等对SiO₂

/Si₃N₄薄膜驻极体^[11]的研究都表明, 随着尺寸的减小, 采用传统的电晕充电和电击穿等注极技术对微尺寸材料进行注极时, 其初始表面电位会变得很低, 且表面电位稳定性变差. Genda等^[12]通过对微型化驻极体的注极实验研究认为由于电晕离子不能到达尺寸很小的驻极体表面, 得出了电晕放电法不适用于对微尺寸材料充电的结论. 同时他们采用液体接触法(以水银为介质)对宽度小于0.2 mm的SiO₂薄膜进行充电, 但所获驻极体的电荷密度低, 同时其稳定性也很差, 因而不能达到实用化的要求. 寻找新型驻极体材料, 发展新的驻极体注极技术, 是实现驻极体在MEMS器件中应用的关键.

在MEMS器件中驻极体材料微尺寸体现在两个方面: 一是薄膜厚度(法向尺度); 二是平面内电场的图型化分布(切向尺度). 这一方面要求驻极体材料在有限的体积元内保持非常高的电荷密度以维持足够的电场强度(高表面电位); 另一方面在与

* 国家自然科学基金(批准号: 51177032)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: cgjin@hdu.edu.cn

其相邻的间隔距离内保持梯度分布的静电场. 这不仅要求材料本身具有非常好的电荷存储能力, 而且对材料结构尤其是驻极体的注极方法提出了特殊的要求.

本文选取具有优异驻极体性能的FEP薄膜为研究对象, 通过对材料表面电极结构的合理设计及对传统注极方法的优化, 制备了法向尺度在微米量级、切向尺度为毫米量级的栅形阵列式电场分布驻极体, 通过表面电位跟踪测量研究了注极方法和注极温度对栅型电场分布驻极体电荷存储性能的影响, 依据电晕和热注极技术原理对实验结果进行了分析.

2 材料制备和实验方法

FEP(fluoroethylenepropylene)是四氟乙烯和六氟丙烯两种单体的共聚物. 其结构如图1(a)所示. 从分子结构看-CF和-CF₃侧基团并非对称的结构, 但是-CF₃侧基团所含的三个F原子在该链轴上投影的偶极矩矢量和为 $P = 3P_0 \cos 72^\circ$, 近似等于-CF单键的偶极矩 P_0 , 使整个分子的总偶极矩为零, 因此与PTFE (Polytetrafluoroethene, 聚四氟乙烯)一样, FEP是非极性材料, 保持了PTFE基本的介电性能. 但由于受到侧基-CF₃的影响, 分子链呈现无规则缠绕结构, 与PTFE相比, FEP的熔点、刚度较低, 柔性和力学性能更好, 利用热塑工艺就可加工成形. FEP所具有的极低吸水率、高体电阻率和面电阻率, 使其成为了综合性能最为优异的驻极体材料, 是目前驻极体器件如话筒、助听器、耳机、声控开关等的首选材料^[13]. 本文采用的FEP薄膜来自美国杜邦公司, 是由89%的四氟乙烯和11%的六氟丙烯共聚而成, 厚度为25 μm. 样品先在酒精和纯净水中用超声波清洗、干燥后, 采用热蒸发镀膜方法在样品的一面先蒸镀铝电极, 再在另一面蒸镀2 mm或3 mm等间距栅型分布铝电极, 电极之间的间距与电极宽度相同. 电极宽度2 mm的样品表面有5个铝电极, 而电极宽度3 mm的样品表面有3个铝电极. 电极宽度2 mm样品的俯视图如图1(b)所示, 其中铝电极厚度约为100 nm.

为赋予FEP薄膜以驻极体特性, 需要采用一定的手段将电荷注入到薄膜的体内, 这一过程称为注极(也称充电). 本文采用了电晕注极和热注极两种方法. 注极装置示意图见图2. 采用YD2665型耐压测试仪(常州扬子电子有限公司)提供负直流稳态高压电场. 常温电晕注极时注极电压为-10

kV, 注极时间为10 min. 高温电晕注极时, 在维持-10 kV注极电压的条件下, 给样品升温. 当温度升至给定温度后, 再恒温5 min, 然后在维持-10 kV直流电压的条件下冷却至室温. 热极化注极时, 在图2(b)所示装置的样品表面覆盖一铝片并与上电极相连接, 在维持3 kV直流电压的条件下给样品升温. 当温度升至一定温度后, 再恒温5 min, 然后在维持电场的条件下冷却至室温. 为了测量注极后样品的电荷存储稳定性, 注极后的样品被保存在恒温恒湿干燥箱中. 干燥箱存储条件为温度25 °C, 相对湿度45%.

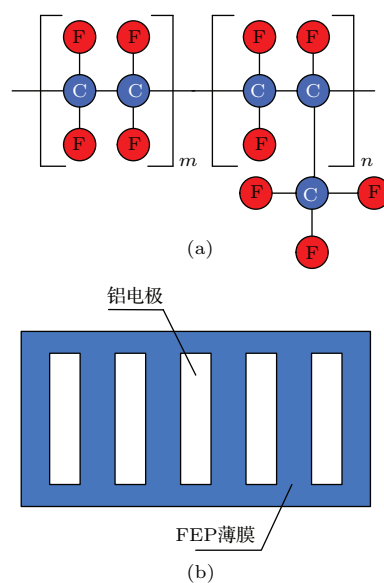


图1 (网刊彩色) (a) FEP的分子结构; (b) FEP薄膜样品俯视图
Fig. 1. (color online) (a) Molecular structure of FEP; (b) top view of sample FEP film (right).

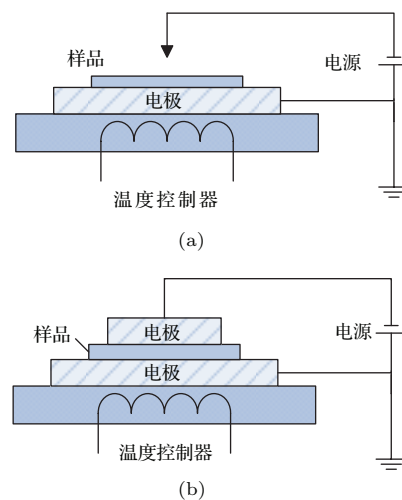


图2 (网刊彩色) 装置示意图 (a) 电晕注极; (b) 热注极
Fig. 2. (color online) Schematic of charging device: (a) Corona charging; (b) thermal charging.

样品的电荷存储性能采用表面电位表征. 表面电位测量采用补偿式非接触方法, 所用仪器为 Monroe 244A 型静电计. 测量时静电计探头与样品表面距离为 3 mm.

3 结果和讨论

3.1 电晕注极样品的电荷存储性能

电晕放电是大面积驻极体制备时最为常用的方法. 它是利用高压电场引起气体的局部击穿产生电晕放电, 使气体电离, 由此产生的空间电荷或离子束在电场作用下轰击电介质表面, 空间电荷可直接沉积于电介质表面或体内, 离子束则与材料表面基团作用, 将电荷转移至电介质表面或体内. 麦克风中使用的 FEP 驻极体就是采用此方法制备的.

图 3 分别为蒸镀 2 mm 和 3 mm 宽铝电极的栅型 FEP 驻极体薄膜在电晕充电完成 1 h 后和存储 150 天后的表面电位分布图. 图中结果显示充电完

成 1 h 后表面电位的栅型分布并不明显, 当样品存储 150 天后栅型分布变得清晰而有规律. 对铝电极宽度为 2 mm 的样品, 存储 150 天后, 覆盖铝电极区平均表面电位在 -20 V 左右, 而未覆盖铝电极区 (FEP 区) 的平均表面电位为 -130 V 左右, FEP 区和铝电极区表面电位差为 110 V (折合成电场强度为 44 kV/cm) 左右; 而对铝电极宽度为 3 mm 的样品, 存储 150 天后, 铝电极区平均表面电位在 -30 V 左右, 而 FEP 区的平均表面电位为 -160 V 左右, 两者电位差约有 130 V (电场强度 52 kV/cm). 2 mm 样品的表面电位较低. 显然两者的差别是由于栅电极宽度的减小, 沉积在铝电极附近的电荷在存储过程中更易发生衰减所致. 由图中还可看出, 距离铝电极越近表面电位越低, 说明电荷衰减越快. 两区域的边界容易导致电荷从 FEP 流向铝电极覆盖区而发生衰减, 从而形成了样品表面电位高低栅型分布的现象.

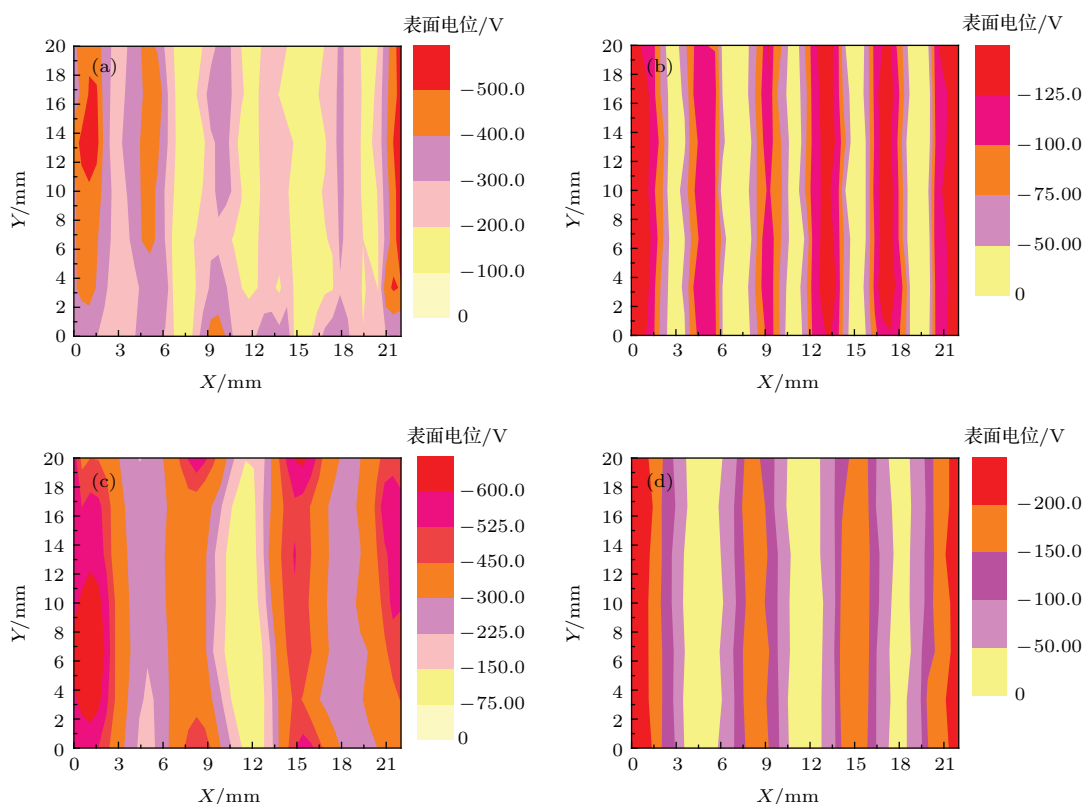


图 3 (网刊彩色) 电晕注极栅型电极分布驻极体表面电位分布图 (a) 电极宽 2 mm 注极后 1 h; (b) 电极宽 2 mm 注极后 150 天; (c) 电极宽 3 mm 注极后 1 h; (d) 电极宽 3 mm 注极后 150 天

Fig. 3. (color online) Surface potential distribution of FEP electret with grid electric field by corona charging: (a) 1 hour after charging with electrode in 2 mm width; (b) 150 days after charging with electrode in 2 mm width; (c) 1 hour after charging with electrode in 3 mm width; (d) 150 days after charging with electrode in 3 mm width.

3.2 热极化注极样品的电荷存储性能

热注极是将电极与样品直接接触, 在高温下施加直流电场, 在电极表面发生热电子发射, 利用样品的陷阱效应俘获电子, 形成驻极体. 图4分别为蒸镀2 mm和3 mm铝电极的FEP薄膜在热极化注极完成后1天和150天时测量的表面电位分布图, 从此图可看出, 注极后1天, FEP薄膜驻极体的表面电位只呈现出大概轮廓, 界面不清晰. 150天后在X轴方向显示非常清晰的栅型电位分布, 而在Y轴方向的表面电位分布则均匀、连续. 与电晕注极时相同, 对铝电极宽度为2 mm的样品, 高电位区和低电位区之间的平均电位差为110 V (电场强度

44 kV/cm), 而铝电极宽度为3 mm的样品, 高电位区和低电位区之间的平均电位差为130 V(电场强度52 kV/cm). 比较图3和图4可看出, 热极化注极的FEP驻极体的初始表面电位比电晕注极的要低, 热极化注极时的最高初始电位在-350 V左右, 而电晕注极样品的初始电位最高达-650 V, 两者相差300 V左右. 这一现象表明, 尽管初始电位不同, 但栅型电场分布驻极体的电场强度决定于FEP材料的电荷存储能力, 与注极方法无关. 铝电极的引入对栅型电场分布的形成起到了关键作用, 铝电极导致了电荷的更快衰减, 实现了FEP驻极体表面电位栅型分布.

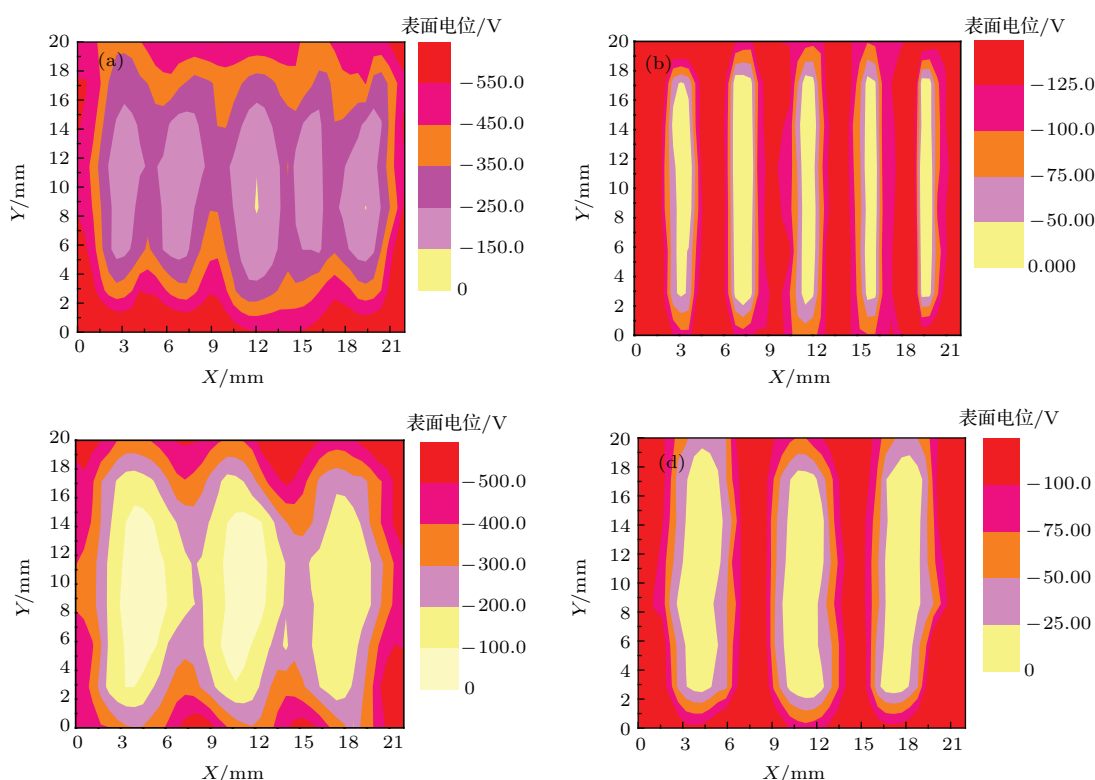


图4 (网刊彩色) 热极化注极栅型电场分布驻极体表面电位分布图 (a) 电极宽2 mm注极后1 h; (b) 电极宽2 mm注极后150天; (c) 电极宽3 mm注极后1 h; (d) 电极宽3 mm注极后150天

Fig. 4. (color online) Surface potential distribution of FEP electrets with grid electric field by thermal charging: (a) 1 hour after charging with electrode in 2 mm width; (b) 150 days after charging with electrode in 2 mm width; (c) 1 hour after charging with electrode in 3 mm width; (d) 150 days after charging with electrode in 3 mm width.

3.3 栅型电场分布驻极体电荷存储机理分析

3.3.1 驻极体尺寸效应

图5为未镀铝电极和栅型铝电极宽度分别为2 mm和3 mm的FEP驻极体薄膜在140 °C, -10 kV条件下电晕注极后、室温条件下存储两周的样品的

中心点无铝电极处表面电位变化情况. 由图可看出, 未镀铝电极和镀铝电极样品具有相似的电荷存储稳定性, 但未镀铝电极样品的表面电位值明显高于有栅型铝电极的样品. 无电极样品的初始表面电位值在601 V以上, 13天后稳定在430 V, 下降了171 V; 而3 mm和2 mm样品的表面电位初始值分别只有293 V和191 V, 注极13天后表面电位稳定

在 128 V 和 98 V, 分别下降了 147 V 和 93 V. 从图中可看出, 衰减主要发生在注极后的前 4 天. 显然, 初始值的差异反映了铝电极的存在降低了 FEP 俘获电荷的能力, 而相似的衰减规律说明被俘获电荷的衰减机理并没有因铝电极的存在而发生了本质上的改变.

上述特性同样体现在热注极的样品中. 图 6 比较了不同电极宽度对热极化 FEP 驻极体薄膜电荷存储性能的影响, 三种样品都是在 150 °C 条件下制备而成. 测试位置与电晕注极样品相同. 图中, 2 mm, 3 mm 和无电极样品的初始表面电位分别为 -220, -238 和 -257 V. 由图可见, 随电极宽度的减小而降低, 在 13 天的存储周期内, 表面电位都有下降, 下降趋势相同. 值得注意的是, 与电晕注极不同, 无电极样品与镀电极样品的表面电位值相差不大, 在注极后的前期并没有显示快速衰减现象. 这与电晕和热注极机理不同有关.

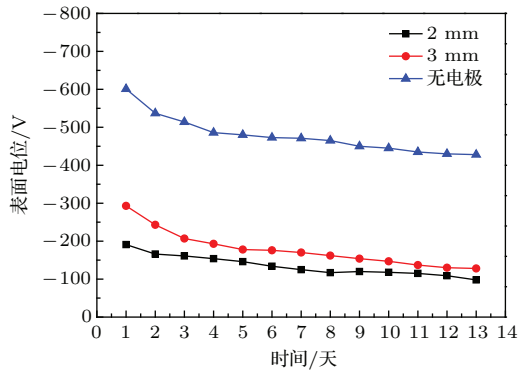


图 5 (网刊彩色) 电晕注极不同电极宽度驻极体的表面电位稳定性
Fig. 5. (color online) Surface potential stability of electrets with different electrode width by corona charging.

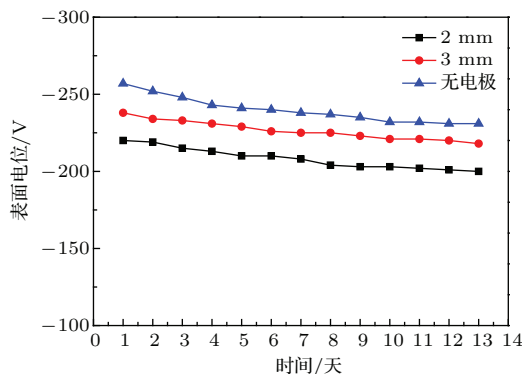


图 6 (网刊彩色) 热极化注极不同电极宽度驻极体的表面电位稳定性
Fig. 6. (color online) Surface potential stability of electrets with different electrode width by thermal charging.

3.3.2 注极温度对栅型电场分布驻极体电荷存储性能的影响

一般认为, 聚合物材料的电导率和温度构成指数型的依赖关系. 从室温至 150 °C, FEP 的电导率比常温时增加约两个数量级^[14]. 因此, 在高温条件下给样品施加电场, 由于传导电流的增加, 电荷可深入到材料体内, 如辅以足够长的充电时间, 并在保持电场不变的条件下降温, 再撤去电场, 可使电荷向体内迁移并被体内的深能阱俘获, 提高驻极体电荷存储能力.

在 100 °C 和 140 °C 条件下分别对 2 mm 和 3 mm 电极宽度样品进行电晕注极, 然后在室温下存储时样品中心点 FEP 表面的电位变化情况如图 7 所示. 从图中可以看出, 注极温度增加, 样品的表面电位增加. 注极温度从 100 °C 增加到 140 °C, 2 mm 和 3 mm 电极宽度样品的初始表面电位分别增加了 40 V 和 57 V, 说明有更多的电荷被俘获. 图中还显示, 两种温度条件下注极的样品, 当电极宽度相同时, 其表面电位显示相似的衰减规律.

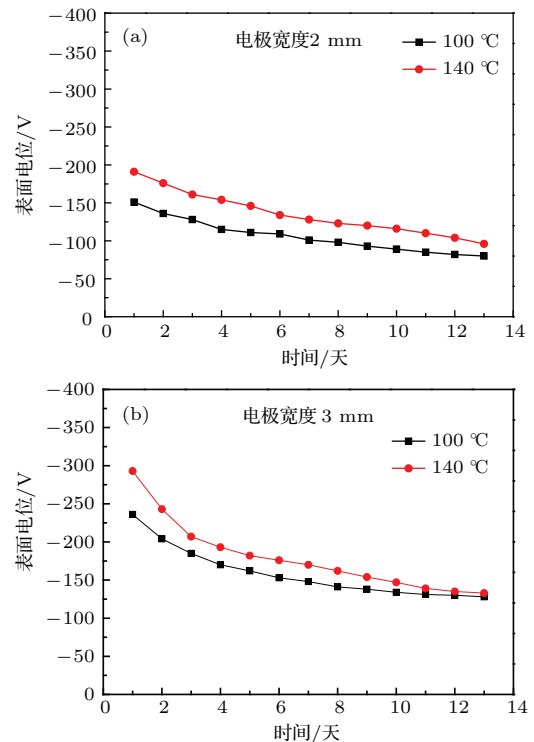


图 7 (网刊彩色) 不同温度下电晕注极栅型电场分布驻极体的表面电位稳定性
Fig. 7. (color online) Surface potential stability of electrets by corona charging at different temperature: (a) 2 mm wide electrode; (b) 3 mm wide electrode.

图8为栅型FEP驻极体薄膜分别在100 °C和150 °C时热极化注极后室温条件下存储10天内的表面电位变化结果. 与电晕注极相同, 热注极温度增加, 样品表面电位增加. 注极温度从100 °C增加到150 °C, 2 mm和3 mm电极宽度样品的初始表面电位分别增加了43 V和53 V, 增加值与电晕注极相近. 这再一次说明提高注极温度, 可增加材料的驻极体电荷存储能力.

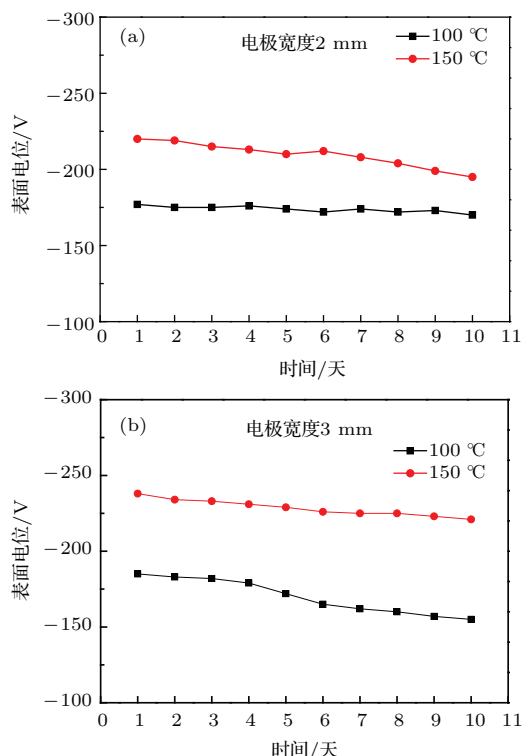


图8 (网刊彩色) 不同温度热极化注极栅型驻极体的表面电位稳定性

Fig. 8. (color online) Surface potential stability of electrochromic FEP dielectric thin film by thermal charging at different temperature: (a) 2 mm wide electrode; (b) 3 mm wide electrode.

3.3.3 注极方法对栅型电场分布驻极体电荷存储性能的影响

现有研究表明, FEP之所以具有十分优秀的驻极体性能, 是因为FEP的体电阻率和面电阻率都很高(大约为 $10^{16} \Omega \cdot m$ 和 $10^{16} \Omega / sq$), 沉积在FEP表面及体内的电荷无法自由流动, 被束缚在各种陷阱内, 不易脱阱. 而且FEP的化学惰性和疏水性使得FEP表面电荷与空气中离子的复合率很低, 因此FEP驻极体具有良好的电荷存储稳定性. 铝是优良的导体, 电阻率极低, 电子在金属体内能够自由流动, 极易被镜像电荷补偿因此很难积聚电荷. 而且由于铝的化学活性很高, 很容易被氧化, 在铝发生氧化反应的过程中, 沉积在其表面的电荷也会

被中和. 当在FEP表面蒸镀栅型分布的图形化铝电极时, 由于FEP和铝两者在电荷俘获性能上的差异, 注极后经过一定的时间, 在FEP表面就会产生电荷密度差, 这是通过在FEP表面蒸镀铝电极能制成图形化电场分布的根本原因.

由前所述的结果可看出, 两种不同注极方式都能形成图形化栅型电场分布FEP驻极体, 且栅型分布电场强度差相近, 但电晕注极样品的初始表面电位较高, 在注极后的初期存在明显的衰减现象; 而热极化注极样品的初始表面电位虽然较低, 但稳定性更好, 易形成栅型电场分布. 造成这种差别的原因与两种注极方式的原理不同有关.

电晕注极是利用高压电场引起气体的局部击穿产生电晕放电, 由此产生的空间电荷或离子在电场作用下轰击电介质表面, 空间电荷可直接沉积于电介质表面或体内, 离子则与材料表面基团作用, 将电荷转移至电介质表面或体内. 在直流稳态负电晕注极时, 由于电子的迁移速度较快, 它将先于负离子到达样品表面, 并形成一稳定的电荷薄层, 这一薄层被称为等离子体鞘层^[15]. 当注极结束即外电场撤去后, 在FEP区, 等离子体鞘层中的电子与FEP表面发生相互作用, 并在电晕场作用下向体内迁移, 被FEP表面或体内的陷阱所俘获, 形成驻极体; 而在铝电极覆盖区, 由于铝电极的阻挡作用, 电子不能进入FEP体内, 表面仅存在过剩电荷. 距离注极样品表面上方 x 处的鞘层电场可用下式表示:

$$V(x) = V_0 e^{-x/X}, \quad (1)$$

$$X = \left(\frac{\epsilon_0 k T}{2 n_0 e^2} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

式中, X 被称为鞘层的有效宽度. k 为Boltzmann常数, e 为电子所带电荷, T 为Kelvin温度, ϵ_0 为真空介电常数. n_0 为运动到样品表面的粒子密度.

由上式可知, 距样品表面 x 处的电场 $V(x)$ 取决于鞘层的有效宽度 X , X 值则由向样品表面运动的粒子密度 n_0 和温度所决定. 当施加在针对面电极间的电场恒定时, 到达样品表面的粒子密度 n_0 不变, 有效宽度 X 受温度的影响. 也就是说, 注极时温度越高, 样品表面形成的等离子体鞘层的有效宽度 X 越大, 电场 $V(x)$ 越大, 驻极体表面初始电位越高.

热注极是将电极与电介质直接接触, 在高温下施加直流电场, 使电极表面发生Shottky效应(场致电子发射和热电子发射的协同作用), 将电子打

到电介质表面. 在直流电场的作用下, 电介质表面的电子向体内迁移, 利用电介质的陷阱效应俘获电子, 形成驻极体. 由Shottky效应产生的电流密度由下式表示^[16]:

$$J_s = AT^2 e^{-(\varphi-\Delta\varphi)/kT} = J e^{\Delta\varphi/kT}, \quad (3)$$

其中 $J = AT^2 e^{-\varphi/kT}$ 为热电子发射引起的电流密度, A 为与材料有关的常数, φ 是电极材料的逸出功, $\Delta\varphi$ 为电场引起的逸出功降低量. 由上式可看出, 由Shottky效应发射的电流密度随温度的增加而增加, 这将有助于电子发射, 因此驻极体表面电位增加. 由于Shottky效应发射所产生的电子浓度远远低于电晕放电过程所产生的电子浓度, 这是热注极方法获得的驻极体样品表面电位将低于电晕注极样品的原因所在. 值得注意的是, 当电极与电介质接触不良存在气隙时, 在高注极电压的作用下, 会产生气隙放电. 此现象的发生会破坏样品表面的栅型结构, 需避免. 因此, 注极电压应低于产生气隙放电的电压.

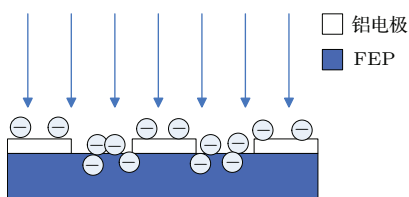


图9 (网刊彩色) 电晕注极形成的栅型分布驻极体的电荷沉积示意图

Fig. 9. (color online) Charge deposition schematic of FEP electret with grid electric field distribution by corona charging.

图9为栅型FEP驻极体在注极时, 电荷在FEP表面上的电荷沉积及过程示意图. 热注极时, 在注极电极与FEP表面接触处, Shottky效应发射的电子直接向FEP转移, 注入到FEP的表面或体内形成驻极体; 而在注极电极与铝电极接触处, 电子通过电导作用, 也可向FEP转移, 因此在注极后的初始阶段栅型电场分布不明显, 但由于铝电极表面比FEP表面更易发生电荷衰减, 在储存过程中, 栅型电场分布逐渐显现出来. 电晕注极时, 由于鞘层电场的存在, 表面将积聚较多的过剩电荷, 表面电位会很高. 与热注极相同, 在注极后的初始阶段栅型电场分布不明显, 同样由于铝电极和FEP的电荷衰减速度上的差异, 一定的存储时间后, 可形成栅型电场分布的驻极体. 由以上分析还可看出, 样品中最终的电荷密度大小决定于FEP

的电荷存储能力, 因此, 无论是热注极还是电晕注极, 一定的存储时间后, 栅型电场强度的大小将会趋向一致.

4 结 论

1) 栅型电场分布FEP薄膜驻极体可通过在FEP薄膜表面蒸镀栅型分布金属电极、并采用电晕注极和热注极方法获得.

2) 注极后的样品存储150天后栅型电场分布变得清晰而有规律, 覆盖铝电极区电场已衰减至接近零, 未覆盖铝电极区仍保持高电位. 存储150天后, 电晕注极和热注极样品呈现相近的栅型电场分布, 对电极宽度为2 mm样品, 覆盖铝电极区与未覆盖铝电极区平均电位差为110 V(电场强度44 kV/cm); 对电极宽度为3 mm样品, 两者平均电位差为130 V(电场强度52 kV/cm).

3) 通过表面电位跟踪测试分析表明, 电晕注极样品初始表面电位高于热注极样品, 但衰减速度更快. 电极宽度越小, 初始表面电位越低, 但不同电极宽度样品的电荷衰减规律相似. 注极温度越高, 样品的表面电位越高.

4) 依据电晕注极和热注极技术原理对实验结果的分析表明, FEP和金属铝表面两者电荷衰减性能上的差异是造成FEP表面蒸镀铝电极后能获得栅型电场分布的原因所在.

参考文献

- [1] Suzuki Y 2011 *IEEJ T. Electr. Electr.* **6** 100
- [2] Haeb A 2011 *Ren. Ener.* **36** 2641
- [3] Zhang X W, Zhang X Q 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 167702 (in Chinese) [张欣梧, 张晓青 2013 物理学报 **62** 167702]
- [4] Hillenbrand J, Haberzettl S, Motz T, Sessler G M 2011 *J. Acoust. Soc. Am.* **129** 3682
- [5] Ko W C, Chen K W, Liou C H, Chen Y C, Wu W J, Lee C K 2012 *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* **19** 1226
- [6] Lo H W, Tai Y C 2008 *J. Micromec. Microeng.* **18** 104006
- [7] Bakhom E G, Cheng M H M 2011 *IEEE sensors J.* **11** 988
- [8] Triches M, Wang F, Crovetto A, Lei A, You Q, Zhang X Q, Hansen O 2012 *Proc. Eng.* **47** 770
- [9] Tsutsumino T, Suzuki Y, Kasagi N, Sakane Y 2006 *19th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems* Istanbul, Turkey JAN 22, 2006 p98
- [10] He Y, Wen Z Q, Wen Z Y, Tang B 2008 *Chin. J. Sens. Acta.* **21** 985 (in Chinese) [何渝, 温中泉, 温志渝, 唐彬 2008 传感技术学报 **21** 985]

- [11] Xiao H M, Wen Z Q, Zhang J W, Chen G J 2007 *Func. Mat.* **38** 1297 (in Chinese) [肖慧明, 温中泉, 张锦文, 陈钢进 2007 功能材料 **38** 1297]
- [12] Genda T, Tanka S, Esashi M 2005 *Jap. J. Appl. Phys.* **44**(7 A) 5062
- [13] Xia Z F 2001 *Electrets* (Beijing: Science Press) pp302–305 (in Chinese) [夏钟福 2001 驻极体 (北京: 科学出版社) 第 302—305 页]
- [14] Gross B, Sessler G M, West J E 1974 *Appl. Phys. Lett.* **24** 351
- [15] Xu X J, Zhu D C 1996 *Principle of Gas Discharge*(Shanghai: Fudan University Press) p243 (in Chinese) [徐学基, 诸定昌 1996 气体放电原理 (上海: 复旦大学出版社) 第 243 页]
- [16] Chen Y S, Zhou P Y, Feng Y Q 1996 *Physical effect and application* (Tianjin: Tianjin University Press) p273 (in Chinese) [陈宜生, 周佩瑶, 冯艳全 1996 物理效应及其应用 (天津: 天津大学出版社) 第 273 页]

Preparation and charge storage property of FEP thin film electret with grid electric field distribution in millimeter scale*

Zhang Lin-Cheng Chen Gang-Jin[†] Xiao Hui-Ming Cai Ben-Xiao Huang Hua Wu Ling

(Hangzhou Dianzi University, Lab of Electret and Its Application, Hangzhou 310018, China)

(Received 15 June 2015; revised manuscript received 23 August 2015)

Abstract

Electret has caught wide attention because it can produce a lasting and stable electrostatic field in the application of MEMS devices such as miniwatt electret generator, electret motor, electret sensor, electret transducer, and so on. Of all the above applications, a remarkable feature is that the electrostatic field distribution on electret surface is patterned in millimeter size or even smaller. However, the charge storage performance of electret in miniature size will dramatically get worse in contrast with the macro-electret. Therefore, it is very important to develop an applicable preparing method to maintain the stability of electrostatic field distribution in micro-patterned electret. In this paper, it is reported that a fluorinated ethylene propylene copolymer (FEP) with evaporated aluminum grid electrode a 25 μm thickness topped with at a step of 2 or 3 millimeter are successfully prepared to form the electret with well grid distribution of electric field(abbreviated as grid electret) by means of corona charging and thermal charging technology. Effect of grid width and charging temperature on the charge storage performance is studied. After stored for 150 days, the grid distribution of electric field on the FEP surface becomes clear and organized. The potentials of the area covered by aluminum electrode are close to zero, while that of uncovered area still remain high. The potential differences between the covered and uncovered by aluminum electrode area are identical in different charging methods, it is 110 V (electric field 44 kV/cm) for the sample with an electrode width of 2 mm, and 130 V (electric field 52 kV/cm) for the sample with an electrode width of 3 mm. Results also show that the initial surface potentials of the grid electrets prepared by corona charging is higher than that by thermal charging, but the former decays more rapidly. For the same charging method, the narrower the aluminum electrode area can lead to the lower initial surface potential, and the higher charging temperature causes the larger initial surface potential. According to the principle of corona charging and thermal charging technology it is concluded that the difference of charge storage capability between FEP and aluminum can account for the grid distribution of electric field on the FEP surface.

Keywords: electret, grid distribution of electric field, charging technology, charge storage performance

PACS: 77.55.F-, 21.10.Ft, 42.25.Ja, 51.50.+v

DOI: 10.7498/aps.64.237701

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51177032).

[†] Corresponding author. E-mail: cgjin@hdu.edu.cn